

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Vliv řezných parametrů na odchylky kruhovitosti

The Influence Cutting Conditions on Deviation Roundness

Student:

Martin Vaňura

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Očenášová Ph.D.

Ostrava 2009

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22.5.2009

Martin Vanura

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 22.5.2009

Martin Vaňura

Martin Vaňura

Vítězná 1746

756 61 Rožnov pod Radhoštěm

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VAŇURA, M. *Vliv řezných parametrů na odchylky kruhovitosti*: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická universita Ostrava, 2009, 43 stran, 8 příloh.

Bakalářská práce, vedoucí : Ing. Lenka Očenášová Ph.D.

Tato bakalářská práce obsahuje přehled poznatků o hodnocení a měření kruhovitosti. V teoretické části jsou popsány odchylky kruhovitosti, příčiny jejich vzniku, způsoby měření a vyhodnocení, měřicí zařízení atd. Experimentální část je věnována měření odchylky kruhovitosti při změně řezných parametrů – řezné rychlosti v_c , hloubce řezu a_p a posuvu f . Cílem práce je vzájemné porovnání zvolených řezných parametrů a získání vstupních informací pro zpracování diplomové práce během dalšího studia v této oblasti. Měření bylo uskutečněno na kroužcích z ložiskové oceli 14 109.4, kalených na tvrdost 62 HRC, na měřícím přístroji TALYROND 73.

ANNOTATION OF THESIS

VAŇURA, M. *The Influence Cutting Conditions on Deviation Roundness*: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 43 pages, 8 supplements.

Thesis, head: Ing. Lenka Očenášová Ph.D.

This thesis includes summary of knowledges about valuation and measuring of roundness deviation. In teoretic part are described roundness deviations, causes of their origin, way of measuring and valuation, measuring machines etc. Experimental part includes measuring of roundness deviation at change of cutting parametres – cutting speed v_c , depth of cut a_p , shift f . The target of thesis is mutual comparison selected cutting parameters and obtain input informations to work on thesis during next studying at this sphere. The measuring was provided on rings of bearing steel 14 109.4, tempered to hardness 62 HRC, on the measuring machine TALYROND 73.

Obsah bakalářské práce

Obsah bakalářské práce	1
Seznam použitého značení	2
1. Úvod.....	4
2. Přehled současného stavu měření odchylky kruhovitosti.....	5
2.1. Normy týkající se vyhodnocení odchylky kruhovitosti	5
2.2. Odchylka kruhovitosti	8
2.2.1. Příčiny vzniku geometrických odchylek	10
2.2.2. Parametry hodnocení odchylky kruhovitosti.....	11
2.3. Metody měření odchylky kruhovitosti	13
2.3.1. Spojité metody.....	14
2.3.1.1. Absolutní metody – metody měření změny poloměru	14
2.3.1.2. Relativní metody	18
2.3.1.3. Skenovací metoda	21
2.3.2. Nespojité (diskrétní) metody	22
2.4. Měřicí zařízení na měření odchylky kruhovitosti	23
2.4.1. Konvenční měřicí přístroje.....	23
2.4.2. Souřadnicové měřicí stroje.....	24
3. Experimentální sledování odchylek kruhovitosti	26
3.1. Zkoumané vzorky.....	26
3.2. Použitý stroj, nástroj a přípravek při soustružení.....	27
3.3. Měření odchylky kruhovitosti spojitou metodou na konvenčním přístroji	29
3.4. Výsledky měření	30
4. Zhodnocení.....	40
5. Závěr.....	41
Seznam použité literatury.....	42
Seznam příloh	43
Přílohy	

Seznam použitého značení

Symbol	Význam	Jednotka
a	x-ová souřadnice excentricity	(mm)
A	referenční kružnice	
a_1	kladná místní odchylka	(μm)
A_1	kružnice, nebo válec se středem C_1 nebo osou Z_1	
a_2	záporná místní odchylka	(μm)
A_2	kružnice, nebo válec se středem C_2 nebo osou Z_2	
a_p	hloubka řezu	(mm)
b	y-ová souřadnice excentricity	(mm)
c	z-ová souřadnice excentricity	(mm)
C_1	střed kružnice A_1	
C_2	střed kružnice A_2	
CMM	souřadnicový měřicí stroj (Coordinate Measuring Machine)	
CNC	počítačem řízený systém (Computer Numerical Control)	
D_1	rozměr součásti	(mm)
D_2	rozměr součásti	(mm)
f	posuv	(mm)
GPS	geometrická specifikace výrobku (Geometrical Product Specification)	
HRC	tvrdost podle Rockwella	(HRC)
ISO	mezinárodní označení norem	
LRD	místní odchylka kruhovitosti	(μm)
LSC	střední kružnice nejmenších čtverců (last squares mean circle – LSCI)	
MCC	nejmenší opsaná kružnice (minimum circumscribed circle – MCCI)	
MIC	největší vepsaná kružnice (maximum inscribed circle – MICI)	
MZC	nejmenší pásmo – mezikruží (minimum zone circles – MZCI)	
r	poloměr zaoblení hrotu snímače	(mm)
R_{max}	maximální vzdálenost poloměru kružnice	(mm)

Symbol	Význam	Jednotka
R_{min}	minimální vzdálenost poloměru kružnice	(mm)
RON_p	největší vrchol odchylky kruhovitosti (peak-to-reference roundness deviation – LSCI)	(μm)
RON_q	střední kvadratická hodnota odchylky kruhovitosti (root mean square roundness deviation - LSCI)	(μm)
RON_t	rozkmít odchylek kruhovitosti (peak-to-valley roundness deviation – MZCI, LSCI, MCCI, MICI)	(μm)
RON_v	největší prohlubeň odchylky kruhovitosti (reference-to-vale roundness deviation - LSCI)	(μm)
r_ϵ	poloměr zaoblení hrotu nástroje	(mm)
t	teplota	($^{\circ}\text{C}$)
u_p	přesnost měřicího zařízení	(μm)
UPR	vlna za otáčku (undulations per revolution)	
vc	řezná rychlost	($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
x, y, z	souřadnicové osy	
\emptyset	průměr součásti	(mm)
α, β	úhly	($^{\circ}$)
Δr_1	radiální vzdálenost	(μm)
Δr_2	radiální vzdálenost	(μm)
Δz	odchylka kruhovitosti	(μm)
ΔZ_c	nejmenší opsaná kružnice	(μm)
ΔZ_i	největší vepsaná kružnice	(μm)
ΔZ_q	střední kružnice nejmenších čtverců	(μm)
ΔZ_z	nejmenší pásmo - mezikruží	(μm)
θ	okamžitý úhel profilu kruhovitosti	($^{\circ}$)
κ_r	nástrojový úhel nastavení hlavní řezné hrany	($^{\circ}$)
$3D$	prostorové zobrazení	

1. Úvod

Současný technologický proces umožňuje stálou kontrolu povrchu během výroby součástí v široké škále odvětví, která je potřebná pro dosažení požadované kvality výrobků. Geometrická stavba součástí zahrnuje soustavu geometrických prvků určujících tvar, rozměr, tvarovou a rozměrovou přesnost, vzájemnou polohu, tj. vlnitost, drsnost apod. Všechny tyto parametry jsou závislé na technologii výroby, parametrech výrobních zařízení, vlastnostech materiálů, ale mimo jiné i na samotném člověku. Každý parametr z těchto prvků se odrazí do celkové přesnosti součástky - tvarové přesnosti [7]. Právě jedním z prvků tvarové přesnosti u rotačních součástí je kruhovitost.

Jeden z nejsledovanějších parametrů kvality valivých ploch při výrobě valivých ložisek je odchylka kruhovitosti. Společně s drsností povrchu mají vliv na úroveň vibrací samotného ložiska a tím i na kvalitu celého zařízení. V poslední době jsou ve strojírenství kladeny vysoké požadavky na kvalitu a je snaha o minimalizaci chyb tvaru kruhových ploch. Proto je také věnována vysoká pozornost zdokonalování metod hodnocení odchylky kruhovitosti a měřicí techniky. Moderní technologické postupy také vyžadují neustálou kontrolu kvality vyráběných povrchů, čehož se může docílit jediné stále se opakujícími měřeními pomocí použití vhodných měřících zařízení, umožňujících dosažení potřebné přesnosti při hodnocení odchylky kruhovitosti. Pro měření odchylek kruhovitosti je v praxi využíváno mnoha metod, ale není dostatečně věnovaná pozornost hodnocení odchylek kruhovitosti v závislosti na řezných parametrech.

Bakalářská práce poukazuje na tuto problematiku a je zaměřena na hodnocení odchylek kruhovitosti ložiskové oceli 14 109.4, která byla zakalená na tvrdost 62 HRC. Hodnotila se odchylka kruhovitosti při různých řezných parametrech. V práci byly realizovány úvodní experimenty, které budou vstupními informacemi pro diplomovou práci.

2. Přehled současného stavu měření odchylky kruhovitosti

Ve výrobním procesu má na geometrickou strukturu povrchu vliv celá řada působících faktorů. Tato geometrická struktura je soustavou geometrických prvků povrchu, podmíněnou tvarem a rozměrem. Mají na ni vliv také vlastnosti, jako jsou: tvar a jeho odchylky, nerovnosti a jejich rozmístění, trhliny a jiné místní poškození povrchu. Měření skutečného povrchu umožňuje zobrazení jeho obrazu pouze v jisté míře přiblížení. Tento přibližný obraz skutečného povrchu nazýváme změřeným povrchem [7]. Při porovnávání změřeného povrchu s geometrickým povrchem navrhovaného prvku se vyskytují odchylky tvarů a nerovností povrchu - vlnitost a drsnost.

Odchylka tvaru je míra vychýlení reálného profilu součástky od jeho skutečného tvaru [4]. Je to soubor periodicky opakujících se nerovností s tou charakteristikou, že poměr vzdáleností mezi nepravidelnostmi a jejich hloubkou je větší jako tisíc (2.1).

$$\frac{\text{Vzdálenost mezi nepravidelnostmi}}{\text{Hloubka nepravidelnosti}} > 1000 \quad (2.1)$$

2.1. Normy týkající se vyhodnocení odchylky kruhovitosti

Norma ISO/TS 12181: 2003

Název normy: Geometrical Product Specifications (GPS) – Roundness.

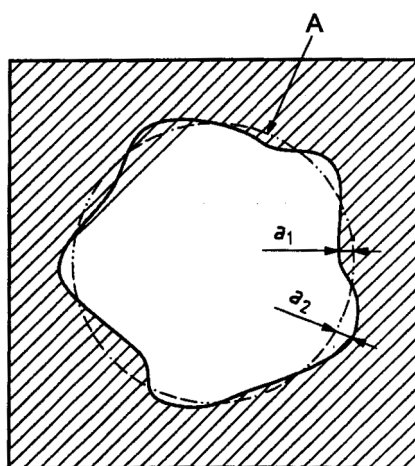
Tato norma ještě není v Česku zavedena, ale je přizpůsobena k použití v Evropské unii [9].

Základní pojmy: [9]

- kruhovitost (roundness) – vlastnost kruhu,
- osa kruhovitosti (roundness axis) – osa prvku sdružená s celým základním prvkem,
- rovina kruhovitosti (roundness plane) – rovina kolmá na osu kruhovitosti uvnitř celého prostoru prvku.

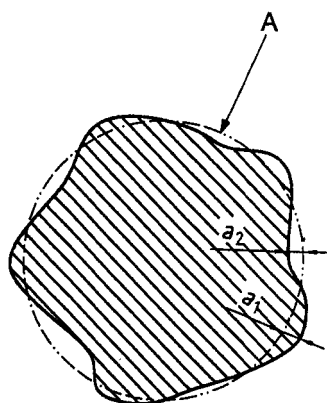
Pojmy týkající se profilu: [9]

- skutečný povrch obrobku (real surface of workpiece) – celý prvek skutečného povrchu obrobku limitovaný celým sousedním prvkem – [ISO 14660 – definice 2.4],
- vybraná obvodová čára (extracted circumferential line) – digitální vyjádření řezu skutečného povrchu a roviny kruhovitosti,
- profil kruhovitosti (roundness profile) – vybraná obvodová čára úmyslně upravená filtrem,
- místní odchylka kruhovitosti LRD (local roundness deviation) – minimální vzdálenost bodu profilu od referenční kružnice, viz. obr. 2.1 a obr. 2.2.



Obr. 2.1 Místní odchylka tvaru vnitřní kruhovitosti prvku

A – referenční kružnice, a_1 – kladná místní odchylka, a_2 – záporná místní odchylka [9].



Obr. 2.2 Místní odchylka tvaru vnější kruhovitosti prvku

A – referenční kružnice, a_1 – kladná místní odchylka, a_2 – záporná místní odchylka [9].

Pojmy týkající se referenční kružnice: [9]

- referenční kružnice (reference circle) – přiřazená kružnice profilu kruhovitosti v souladu se specifikovanou dohodou, ke kterému se vztahuje odchylka kruhovitosti a parametru kruhovitosti,
- referenční kružnice nejmenšího pásma (minimum zone reference – MZCI) – dvě soustředné kružnice uzavírající profil kruhovitosti a mající nejmenší radiální vzdálenost,
- vnější referenční kružnice nejmenšího pásma (outer minimum zone reference circle) – vnější kružnice z dvou kružnic MZCI,
- vnitřní referenční kružnice nejmenšího pásma (inner minimum zone reference circle) – vnitřní kružnice z dvou kružnic MZCI,
- průměrná referenční kružnice nejmenšího pásma (mean minimum zone reference circle) – střední průměrná kružnice z kružnic MZCI,
- střední kružnice nejmenších čtverců (least squares reference circle – LSCI) – kružnice, kde součet čtverců místních odchylek kruhovitosti je nejmenší,
- nejmenší opsaná kružnice (minimum circumscribed reference circle – MICI) – nejmenší možná kružnice, která se po obvodě dotýká měřeného profilu,
- nejmenší vepsaná kružnice (maximum inscribed reference circle – MCCI) – největší možná kružnice, která se dokola uvnitř dotýká měřeného profilu.

Pojmy týkající se obvodu kružnice: [9]

- vlny za otáčku (undulations per revolution – UPR) – počet sinusových vln obsažených v profilu kruhovitosti,
- obvodová vlnová délka (circumferential wavfelenght) – obvod referenční kružnice dělený UPR.

Pojmy týkající se funkce filtrů: [9]

- vlnový filtr (wave filter) – filtr operující na uzavřeném profilu, přenášející rozsah sinusových vln, ke kterým je podíl amplitudy výstupu ke vstupu definován, pokud je zeslabení (např. redukování) podíl ležících vln mimo rozsah na jednom nebo obou koncích,
- přenosná charakteristika filtru (transmission characteristic of a filter) – charakteristika, která je označována množstvím, kterým je amplituda sinusového profilu zmírněná jako funkce jeho vlnové délky,

- vlnová hranice (undulation cutt-off) – hranice vlnové délky aplikovaného filtru k vytažené obvodové přímce,
- přenosné pásmo pro profil kruhovitosti (transmission band for roundness profiles) – pásmo sinusového profilu vln, které je přenášeno pomocí většího, než specifikovaného procenta filtrem, definovaného pomocí hodnot horních a dolních vlnových hranic.

Parametry hodnocení odchyly kruhovitosti: [9]

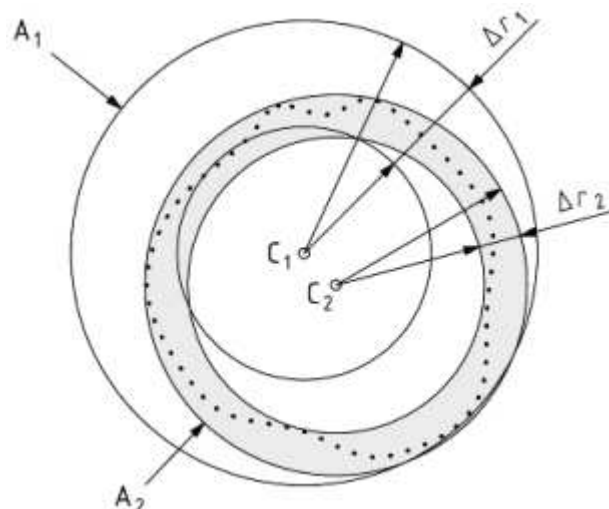
- vzdálenost odchylek kruhovitosti (peak-to-valley roundness deviation – MZCI, LSCI, MCCI, MICI) RON_t – hodnota největší kladné místní odchyly kruhovitosti spočítané z absolutní hodnoty největší záporné místní odchyly,
- největší vrchol odchyly kruhovitosti (peak-to-reference roundness deviation – LSCI) RON_p – hodnota největší kladné místní odchyly kruhovitosti ze střední kružnice nejmenších čtverců,
- největší odchyly kruhovitosti (reference-to-valley roundness deviation – LSCI) RON_v – absolutní hodnota největší záporné místní odchyly kruhovitosti ze střední kružnice nejmenších čtverců,
- střední kvadratická hodnota odchyly kruhovitosti (root mean square roundness deviation – LSCI) RON_q – odmocnina ze součtu čtverců místních odchylek kruhovitosti ze střední kružnice nejmenších čtverců je vyjádřena podle vztahu 2.2.

$$RON_q = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{2 \cdot \pi} LRD^2 d\theta} \quad 2.2$$

LRD – místní odchyly kruhovitosti, θ – okamžitý úhel profilu kruhovitosti

2.2. Odchyly kruhovitosti

Odchyly kruhovitosti je maximální radiální vzdálenost nejmenší opsané, nebo největší vepsané kružnice daného profilu po vrcholky drsnosti. Tolerovaný prvek je považován za správný, když tato radiální vzdálenost je rovna předepsané hodnotě tolerance nebo je menší. Umístění středů a poloměrů kružnic musí být zvolena tak, aby radiální vzdálenost mezi dvěma soustřednými kružnicemi byla co nejmenší [1], [11], příklad viz. obr. 2.3.

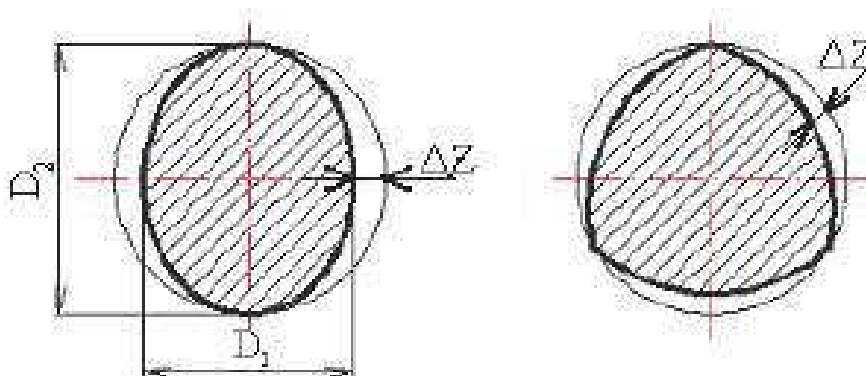


Obr. 2.3 Hodnocení minimální zóny pro kružnice [11]

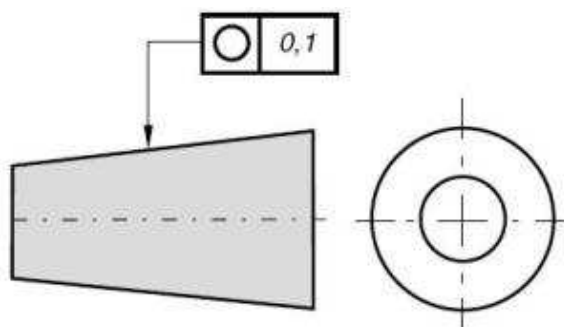
Z obrázku vyplývá správná toleranční podmínka $\Delta r_2 < \Delta r_1$.

Správná toleranční podmínka dvou soustředných kružnic – A_2 . Radiální vzdálenost Δr_2 je rovna nebo menší předepsané toleranci kruhovitosti.

Skutečné tvary rotačních ploch se zjednodušeně vyskytují ve dvou tvarech, a to buď bližším k elipse a hovoříme o oválnosti, anebo s určitým počtem hran po obvodě a hovoříme o hranatosti (obr. 2.4) [1].



Obr. 2.4 Tvary rotačních ploch (vlevo oválnost, vpravo hranatost) [7]



Obr. 2.5 Příklad tolerančního pole kruhovitosti a jeho značení

2.2.1. Příčiny vzniku geometrických odchylek

Všeobecně vznikají odchylky od ideálního geometrického tvaru vlivem:

- použitého obráběcího stroje,
- obrobku,
- nástroje,
- prostředí.

Obráběcí stroj – má největší vliv na odchylky geometrického tvaru a převážně je to ovlivněno těmito faktory:

- osa obrobku (osa rotace) a nerovnoběžné vodící plochy obráběcího stroje,
- osa obrobku je vychýlena vzhledem na vodící plochy stroje, anebo jsou vychýlené vodící plochy stroje,
- chvění stroje,
- pružné deformace stroje.

Obrobek – ovlivňuje odchylku tvaru jen zčásti:

- uvolněním zbytkových napětí,
- smrštění po obrábění,
- nehomogenitou materiálu,
- tepelným ovlivněním,
- stárnutím.

Nástroj – má převládající vliv na drsnost obrobených ploch prostřednictvím:

- opotřebení,
- geometrie (poloměr hrotu),
- posuvu.

Prostředí – může ovlivňovat odchylky od ideálního geometrického tvaru:

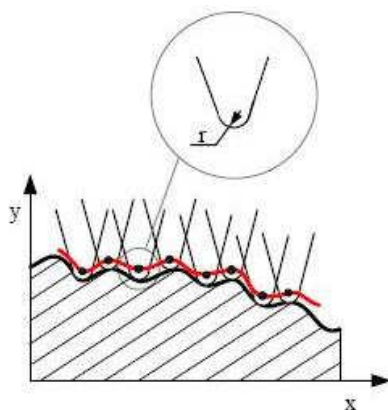
- chvěním, přenášeným z obráběcích strojů stojících v blízkosti,
- chvěním, přenášeným z blízké dopravy, hlavně těžkých nákladních automobilů,
- lokální a časovou změnou okolní teploty.

Všechny tyto zdroje způsobují odchylky obrobků od ideálních geometrických tvarů [5].

2.2.2. Parametry hodnocení odchylky kruhovitosti

Odchylky kruhovitosti jsou měřené v rovinách kolmých na osu kontrolované rotační plochy. Normou je stanovený nejmenší počet měření a poloha rovin měření v závislosti na délce válcové plochy a poměru délky a průměru [2].

Funkční plochy rotačního tvaru jsou významné z hlediska jejich četnosti a hlavně z hlediska požadavků na geometrickou jakost. Geometrická jakost v tomto případě také zahrnuje kruhovitost a složky struktury povrchu – vlnitost povrchu a drsnost povrchu. Vlnitost povrchu je do kruhovitosti buď zahrnuta, anebo filtrací eliminována. Drsnost povrchu není po obvodu zjišťována (*obr. 2.6*). Přesnost metody závisí na tvaru dotyku na snímaném profilu, který vykresluje dráhu dotyku snímače [2].



Obr. 2.6 Příklad snímaného profilu na konvenčním přístroji spojitou metodou [7]

Pro hodnocení kruhovitosti je všeobecně potřebné získat profil rotační součásti v rovině kolmé na jeho osu (skutečný profil) a tento profil porovnat s kružnicí (ideální profil), jejíž polohu vůči posuzovanému profilu je potřebné určit podle daných pravidel. Radiální velikost rozdílu obou profilů je prezentována jako odchylka kruhovitosti.

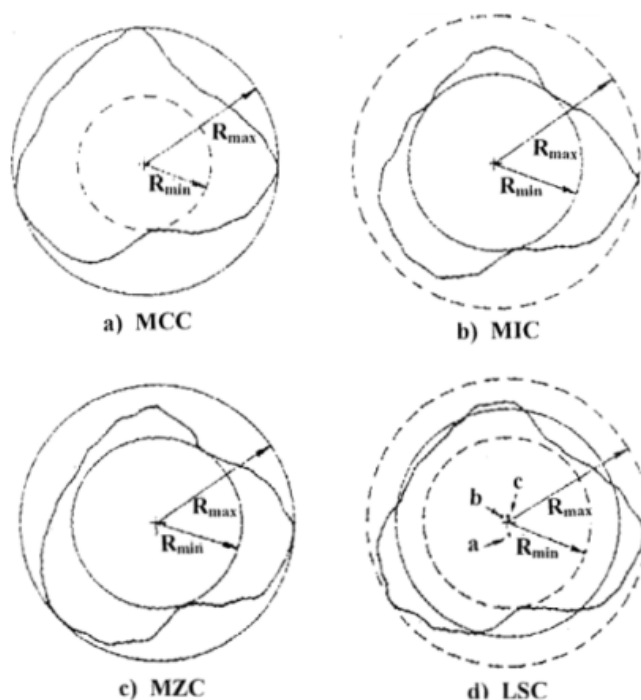
Možnost náhradních prvků – kružnic zaznamenaných ze zkoumaného profilu součástky, soustředného s osou rotace nebo jeho zobrazení [12].

Nejmenší opsaná kružnice (MCC) – nejmenší kružnice, kterou je možno nakreslit okolo zaznamenaného nebo upraveného profilu součásti (obr. 2.7a). Značí se ΔZ_c .

Největší vepsaná kružnice (MIC) – největší kružnice, kterou je možno nakreslit do zaznamenaného nebo upraveného profilu otvoru (obr. 2.7b). Značí se ΔZ_i .

Nejmenší pásma – mezikružší (MZC) – dvě soustředné kružnice, které obklopují zaznamenaný nebo upravený profil a mají nejmenší radiální vzdálenost (obr. 2.7c). Značí se ΔZ_z .

Střední kružnice nejmenších čtverců (LSC) – kružnice, u které součet čtverců odchylek od zaznamenaného profilu nebo upraveného profilu je nejmenší (obr. 2.7d). Značí se ΔZ_q .



Obr. 2.7 Referenční kružnice pro hodnocení kruhovitosti [2]

Při měření kruhovitosti je potřeba operovat s profilem, který je z měřeného objektu získán souvislým zaznamenáváním okamžitých poloh jednotlivých bodů obvodu. Standardní podmínky měření a hodnocení kruhovitosti je nutné zabezpečovat pomocí příslušných technických předpisů.

Pro získání číselných hodnot odchylek kruhovitosti je nutné udělat řadu kroků, z kterých každý určitým způsobem ovlivní jejich přesnost.

Základní kroky:

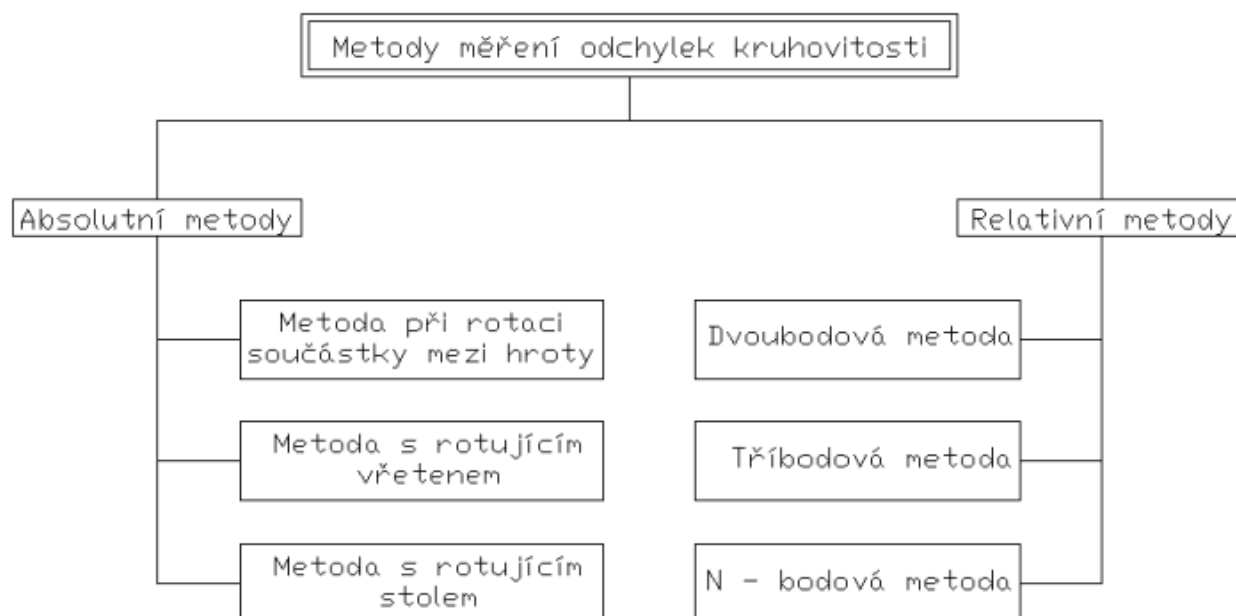
- *stanovení kritérií* pro hodnocení kruhovitosti,
- *získání informací* z povrchu měřeného rotačního objektu, které je možno realizovat spojitým nebo diskrétním snímáním. Při diskrétním způsobu snímání je možno využít dvoubodovou nebo tříbodovou metodu, nebo odměřování souřadnic omezeného počtu bodů z obvodu pomocí souřadnicového měřicího stroje. Oba způsoby však patří mezi metody zjednodušené,
- *zpracování signálu* nesoucího informace,
- *vyhodnocení a interpretace* výsledků měření [2].

2.3. Metody měření odchylky kruhovitosti

Odchylka kruhovitosti má ve výrobě valivých ložisek, ale i např. u nosných a vodících prvků hřídelí mimořádný význam. Kontrola přesnosti tvaru – kruhovitosti je z hlediska funkce mimořádně důležitá. Společně s drsností povrchu významně ovlivňuje úroveň vibrací rotujících částí a tím i kvalitu celého zařízení. Z tohoto důvodu je věnována vysoká pozornost hodnocení a zdokonalování metod měření a vyhodnocení odchylky a používané měřicí techniky. Vlastní měření a vyhodnocení neslouží jen k určení velikosti odchylky, ale také umožňuje získat informace využitelné v procesu tvorby povrchu – obrábění s cílem korigovat a zlepšovat technologické postupy [7] [12].

Na měření odchylek kruhovitosti se používají různé měřicí metody a různé měřicí přístroje a zařízení, od univerzálních až po velmi přesné měřicí přístroje (obr. 2.8). V posledních letech výrazně vzrostl vývoj trísouřadnicových měřicích strojů. Zároveň umožňují měření kruhovitosti, ale nezaručují malou nejistotu měření, jako speciální

zařízení. Výhodou souřadnicových měřících strojů je jejich univerzálnost, jako např. hodnocení odchylky tvaru, průměru a polohy kružnic.



Obr. 2.8 Rozdělení metod měření odchylek kruhovitosti [7]

Měřící metody měření odchylek kruhovitosti pro různé měřící přístroje a jsou děleny na:

- spojitě metody,
- nespojitě metody (diskrétní metody).

2.3.1. Spojité metody

Spojitě metody jsou takové metody, při kterých je dotykový snímač měřícího zařízení v neustálém kontaktu s měřenou součástí po celou dobu měření.

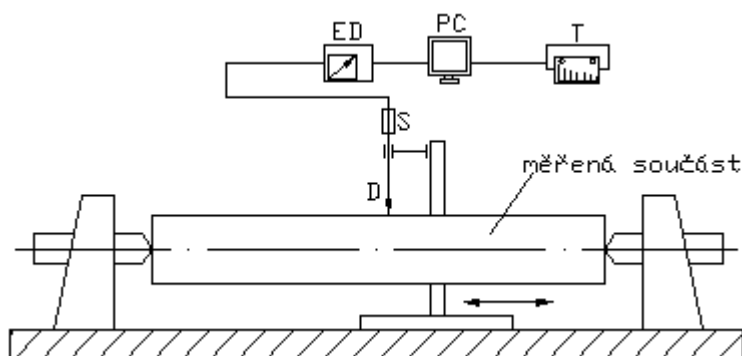
2.3.1.1. Absolutní metody – metody měření změny poloměru

Absolutní metody jsou nazývány také metodami měření změn poloměru s použitím dotykových přístrojů. Absolutní metody měření se dělí podle použití měřícího přístroje, viz. obr. 2.8:

- metoda při rotaci součástky mezi hroty (obr. 2.9),
- metoda s rotujícím vřetenem – měřená součástka stojí a snímač rotuje (obr. 2.10),
- metoda s rotujícím stolem – snímač stojí a součástka rotuje (obr. 2.10).

Všechny tyto metody mají vysokou přesnost měření.

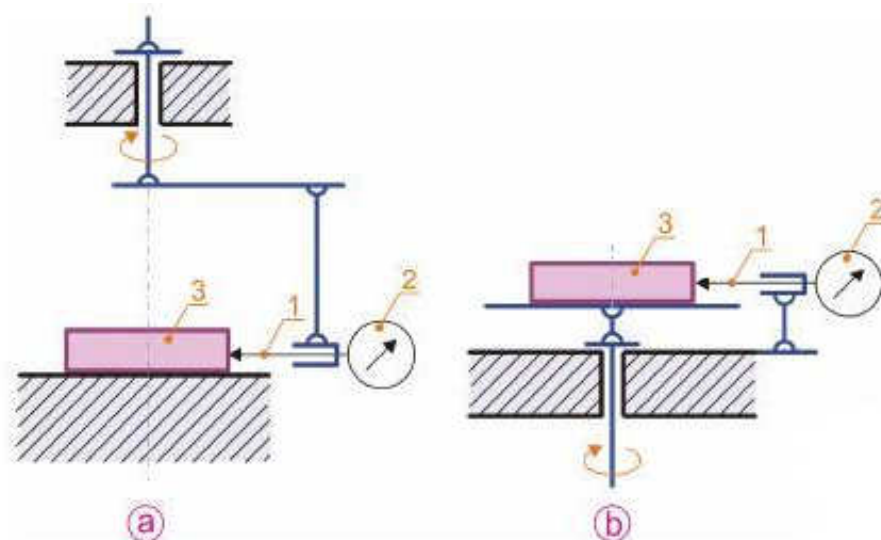
Metoda při rotaci součástky mezi hroty (obr. 2.9) – nejjednodušší absolutní metoda. Měření je realizováno pomocí měřicího přístroje s dotykem umístěným v radiálním směru.



Obr. 2.9 Schéma měření při rotaci mezi hroty

D – dotyk, S – snímač, ED – elektronický délkoměr, PC – počítač, T – tiskárna

Metody měření s rotujícím vřetenem a rotujícím stolem (obr. 2.10) – Povrch měřené součástky je snímán spojitě. Před začátkem měření je nutné dokonale vystředit a vycentrovat součástky tak, aby byla osa součástky shodná s osou rotace vřetena nebo stolu a excentricita byla co nejmenší. Poloměrové (radiální) pohyby snímače jsou převáděny na elektrické signály, které jsou následně zpracovávány počítačem. Výsledkem měření je buď grafický záznam průběhu profilu kruhovitosti součástky nebo jeho číselné vyhodnocení. Výhodou této metody je, že snímáný profil odpovídá skutečnému profilu. Měřicí přístroj je velmi přesný a přesnost otáčení vřetena nebo stolu je často lepší jako 0,1 μm . K tomuto je však velmi důležitá časově náročná příprava, která zahrnuje dokonalé vystředění a vyrovnaní součástky [7].



Obr. 2.10 Princip měření kruhovitosti

a) s rotujícím vřetenem, b) s rotačním stolem

1 – měřící dotyk, 2 – měřící přístroj, 3 – měřená součástka [5]

Požadavky na nastavení měřeného objektu před měřením kruhovitosti jsou směr měření a volba poloměru hrotu dotyku s ohledem na separaci drsnosti povrchu.

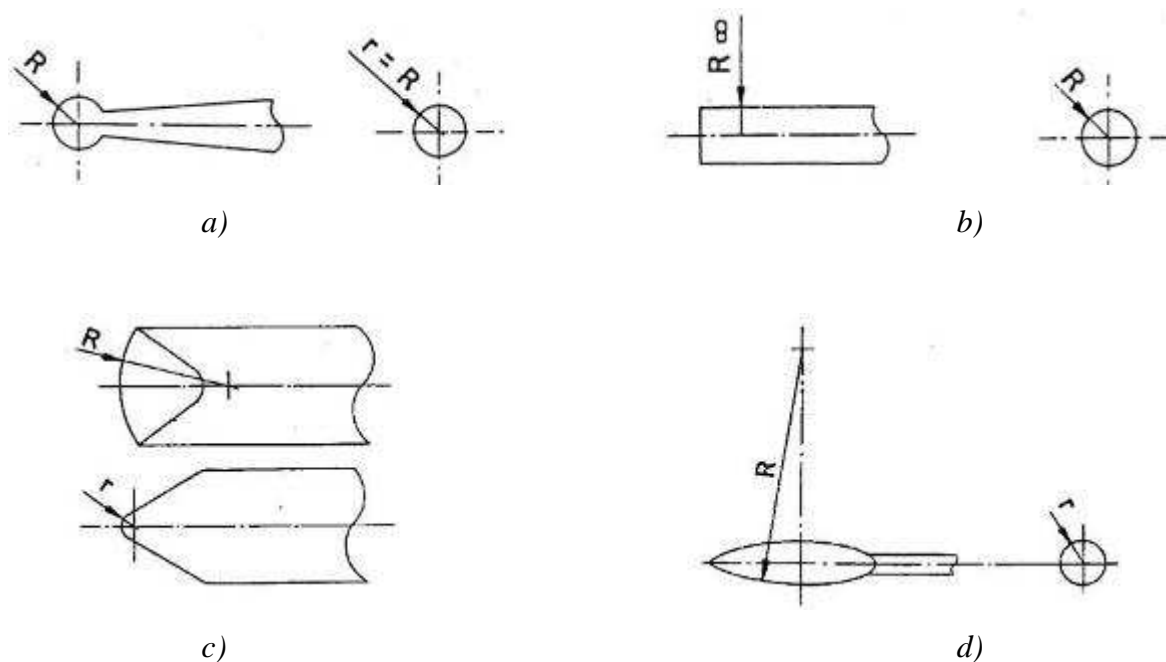
Podle výstupních informací jsou přístroje:

- se zápisem profilu,
- s přímým zobrazením číselných hodnot parametrů,
- s kombinací obou způsobů.

Podle charakteru povrchu měřeného povrchu jsou specifikovány druhy a rozměry hrotů měřících dotyků a je předepsána statická měřící síla dotyků.

Volba dotyku ovlivňuje charakteristiku povrchu součástky. V závislosti na druhu a rozsahu nerovnoměrnosti přicházejí v úvahu tyto druhy hrotů (obr. 2.11):

- kulové,
- válcové,
- klínové,
- kapkové.



Obr. 2.11 Druhy hrotů měřících dotyků

a) kulový, b) válcový, c) klínový, d) kapkový [10]

Poloměry hrotů měřících dotyků: 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 [mm] [2].

Specifikované chyby přístroje jsou:

- celková chyba přístroje,
- chyba otáčení – radiální,
- axiální.

Měřicí přístroje přizpůsobené absolutním metodám zaručují velkou přesnost měření. Jsou však používány především v laboratorních podmínkách, protože vyžadují splnění speciálních podmínek, jako např. přesné středění a centrování měřených předmětů, což souvisí s vyrovňáváním časově náročných činností. Z tohoto důvodu absolutní metody nemohou být využívány pro rychlé a hromadné hodnocení odchylek kruhovitosti. Pro takovéto hodnocení jsou vhodné relativní metody [7].

2.3.1.2. Relativní metody

Uplatnění relativních metod měření je především v ložiskovém průmyslu. Jejich výhodou je všeobecná dostupnost a možnost využití ve výpočtové technice. Relativní metody můžeme rozdělit dle obr. 2.12.



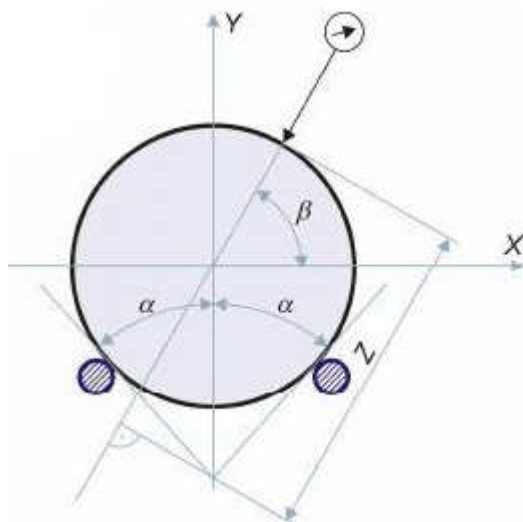
Obr. 2.12 Rozdělení relativních metod měření odchylek kruhovitosti [7]

V měřicím přístroji se upevní zkoumaný prvek do měřicí hlavy a následně se uvede do otáčivého pohybu, s rychlostí 200 – 500 ot.min.⁻¹. Kmity způsobené odchylkami kruhovitosti jsou přenášeny elektrodynamickým snímačem, které procházejí elektronickým obvodem a zaznamenávají střední hodnotu měřených odchylek na obrazovce osciloskopu. Předností těchto přístrojů je rychlost měření, což je vhodné i pro hromadnou kontrolu hotových prvků [7].

Při relativních způsobech měření odchylek kruhovitosti se rozlišují body:

- podpěry (opírání se na prizmu),
- body snímání.

Polohu těchto bodů vzhledem ke stanovené souřadnicové soustavě určují parametry metody – úhel α a β (obr. 2.13).



Obr. 2.13 Princip měření odchyłky kruhovitosti relativními metodami [5]

Úhel 2α – úhel mezi tvořícími čarami opěrných bodů, které jsou tečnami kružnic.

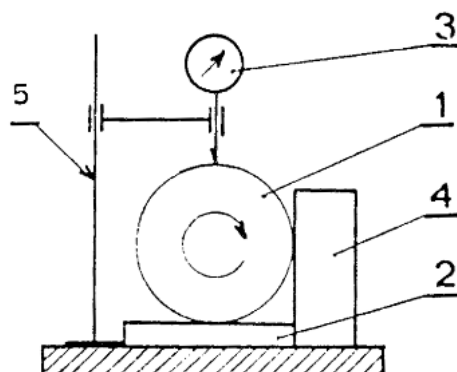
Tyto body reprezentují pravý měřený profil v místech jejich styku s těmito body.

Úhel β – úhel mezi směrem měření (směrem pohybu snímacího dotyku) a souřadnicovou osou X [7].

Z hlediska konstrukce je použití relativních metod do zařízení jednoduché, a je tedy možné je zavádět do výrobních podmínek a montovat je přímo na obráběcí stroje.

Dvoubodová metoda – lze ji realizovat tradiční metodou (úhel $2\alpha = \pi$, $\beta = \pi$) nebo klasickou metodou s boční podpěrou (úhel $\alpha = \beta$).

Princip měření – měřená součástka je ustavena na měřicí desku a rozdíly průměrů jsou odčítány ze snímače (obr. 2.14).



Obr. 2.14 Měření odchyłky kruhovitosti dvoubodovou metodou - přímou

1– měřená součást, 2– podložka, 3– indikační přístroj, 4– boční doraz, 5– měřicí stojan [2]

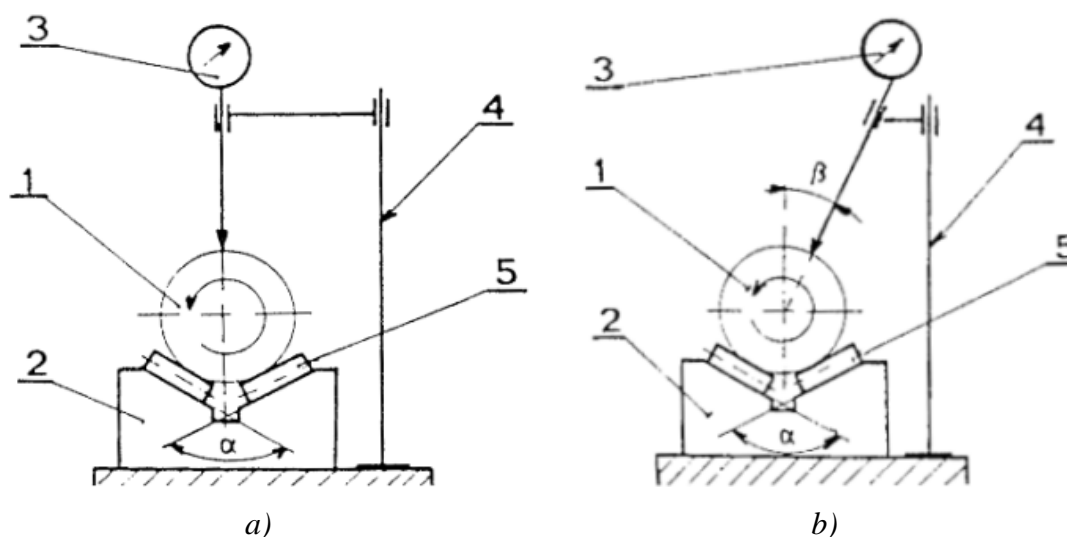
Je to jednoduchá metoda, všeobecně využívaná v průmyslových podmínkách. Umožňuje měření s využitím univerzálních měřících přístrojů [7].

Tříbodová metoda – měření se uskutečňuje měřením v prizmě o úhlu 2α v rozmezí od $0^\circ \div 180^\circ$. Z praktického hlediska musí být zavírací úhel v rozmezí $36^\circ \div 140^\circ$ [3].

Tříbodové metody se rozdělují na symetrické a nesymetrické.

- *Symetrické metody* (úhel $\beta = 90^\circ$ – přímá, úhel $\beta = -90^\circ$ – nepřímá) jsou používány pro měření tvaru vnitřních i vnějších rozměrů. Umožňují měření na univerzálních měřících přístrojích i s využitím tradičních prizem, a také lze měřit hodnoty průměru. V mnohých případech však neumožňují měření párných odchylek.
- *Nesymetrické metody* (úhel $0^\circ < \beta < 90^\circ$ – přímá, úhel $-90^\circ < \beta < 0^\circ$ – nepřímá) slučují přednosti dvoubodových a tříbodových symetrických metod, čímž umožňují měření všech případů odchylek kruhovitosti. Problémem nesymetrických metod měření je vhodný výběr takové kombinace úhlů α a β , aby možnosti měření jednotlivých odchylek byly co největší a minimalizovala se nepohodlnost využívání koeficientů zvětšení [7].

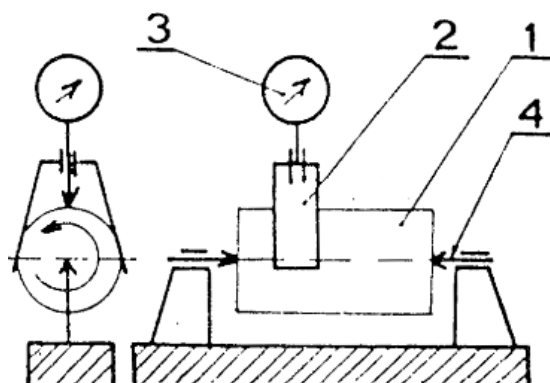
Měření se realizuje pomocí dvou metod – přímá (obr. 2.15) a obrácená (obr. 2.16).



Obr. 2.15 Měření odchylnosti kruhovitosti tříbodovou metodou – přímá metoda

a) systematické uspořádání, b) nesytematické uspořádání

1 – měřená součást, 2 – prizma, 3 – úchylkoměr, 4 – měřící stojan, 5 – válečky [2]



Obr. 2.16 Měření odchyšky kruhovitosti tříbodovou metodou – obrácená metoda

1 – měřená součást, 2 – nasazovací přípravek, 3 – odchylkoměr, 4 – hrotový přístroj [2]

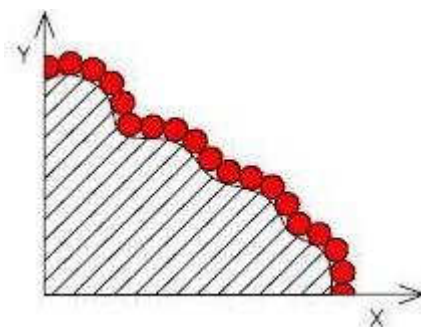
N-bodová metoda – může být uskutečněna dvěma způsoby. A to tradičním – ustavením do prizmy a s použitím minimálně dvou snímacích dotyků, anebo použitím speciální prizmy, která má velké uplatnění při měření velkých rozměrů.

2.3.1.3. Skenovací metoda

Skenovací metoda je aplikována na třísouřadnicových měřících strojích. Při skenovacím způsobu snímání je výsledkem určení hodnot souřadnic měřených bodů jdoucích za sebou na charakterizaci čar měřeného povrchu [13].

Rozložení skenovacích bodů je se vzájemným rozestupem mezi dvěma za sebou jdoucími body skenování často menší než 0,1 mm. Takto vysoká hustota skenovaných bodů zaručuje podrobnější informace o měřeném povrchu.

Plynulé měření prvků a kontur poskytne dostatečně vysokou hustotu bodů, která je potřebná ke správnému určení tvaru povrchu (obr. 2.17). Měření se uskutečňuje na CMM, měřící hlava musí podporovat skenovací technologii se stálým kontaktem měřícího hrotu a měřeného objektu.



Obr. 2.17 Snímání skenovací metodou

2.3.2. Nespojité (diskrétní) metody

Nespojitým způsobem snímání získáváme informace měřením souřadnic omezeného počtu bodů z měřeného povrchu.

Měření se realizuje na souřadnicovém měřicím stroji v režimu určení polohy diskrétních bodů. Používají se standardní měřicí hlavy, které umožňují jen snímání jednotlivých bodů. Pomocí několika snímaných bodů dostáváme neúplnou informaci o tvaru, případně poloze snímané plochy. Při snímání kruhového profilu je definována geometricky třemi body, kde se při určení tvaru a polohy vychází ze snímání souřadnic čtyř bodů v diskrétním režimu. Vypočítá se souřadnice středu kružnice a její průměr. Tento vypočítaný tvar a poloha kružnice jsou pouze výstupem měření.

Výsledky nespojitého měření jsem poměrně nepřesné a neposkytují úplnou informaci o poloze tvaru a rozměru měřeného povrchu. Předpokladem přesného měření je správné vyrovnaní, protože při vyjmutí a opětovném vložení součásti do přípravku bude poloha součásti jiná. Také opakování měření se snímáním malého počtu bodů vede k rozdílným výsledkům. Snímáním většího počtu bodů jsou zabezpečeny stejné výsledky, a to i při změně polohy součásti [7].

2.4. Měřicí zařízení na měření odchylky kruhovitosti

Na měření odchylek kruhovitosti jsou používány různé metody i měřicí zařízení. Měřicí zařízení můžeme rozdělit podle více kritérií podle toho, jakou metodu zvolíme, s jakou přesností chceme měřit a jaké množství součástí budeme měřit (jednorázově nebo sériově). Tyto metody a postupy jsou popsány v předcházejících kapitolách.

Měřicí zařízení se dělí na:

- konvenční měřicí přístroje,
- souřadnicové měřicí stroje CMM.

2.4.1. Konvenční měřicí přístroje

Ve výrobě se tvary často kontrolují jednoduchými pomůckami (pravítky, šablonami) a měřicími přístroji (číselníkovými odchylkoměry apod.). Konvenční měření kruhovitosti se realizuje měřením v tzv. úhlových podložkách, nebo jiném podobném uspořádání [7]. Tyto metody se nazývají relativní a nebo tříbodové. Na jejich základě lze navrhnout přístroje, které mohou být využity ve výrobě a to i přímo na stroji během obrábění. V současné době je použití relativních metod omezené tím, že před samotným měřením většinou nepoznáme základní tvarovou odchylku, zda jde o ovalitu nebo více-hran se stejným průměrem [7].

V laboratorních podmínkách jsou většinou využívány přístroje pracující na principu spojitě metody. Významná je u nich vysoká přesnost měření a jsou pojmenovány jako kruhoměry. Naměřené údaje jsou zpracovány pomocí softwaru.

Příkladem měřících přístrojů používaných na měření tvaru: Talyrond, Roundtest, Talysurf, Rondcom a jiné (*obr. 2.18*).



Obr. 2.18 Konvenční měřicí přístroje

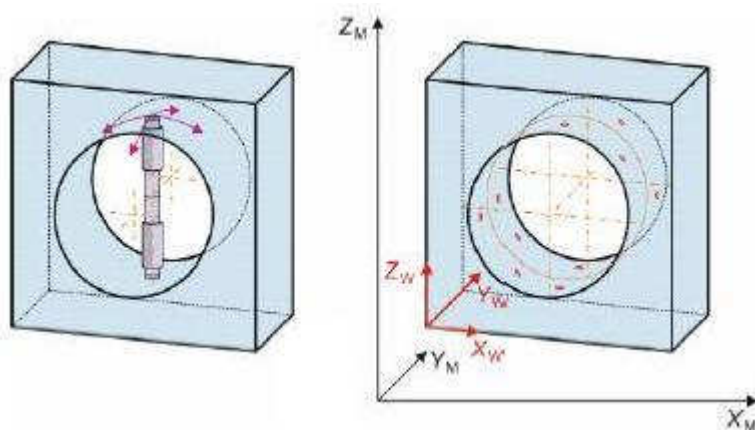
a) Talyrond 440

b) Roundtest RA-114

2.4.2. Souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicový měřicí stroj (CMM – Coordinate Measuring Machines) je složitý měřicí systém, který vykonává měření v rovině nebo v prostoru dané souřadnicové soustavy s možností plné automatizace a vyhodnocení pomocí softwaru.

Na trhu jsou nabízeny CMM od malých stolových až po největší mostové systémy, díky kterým je možno na základě přeměření určit odchylky rozměrů, tvarů a vzájemných poloh (obr. 2.19), nacházejících v normě ISO 1101 [11]. Při použití přesného souřadnicového měřicího stroje se dá určit na součástce i mikrogeometrie povrchu, přičemž není potřeba použití speciálního zařízení [7].



Obr. 2.19 Konvenční a souřadnicová metrologie [7]

Současné CMM jsou univerzální flexibilní stroje, určené k realizaci přesných a náročných měřících operací, především k měření skříňových součástí a ke kontrole ploch složitých tvarů, jako např.:

- ozubení,
- turbínových lopatek.

Vyznačují se různými stupni automatizace, od manuálního řízení až po CNC (Computer Numerical Control) počítačové číslicové řízení [8]. Tyto měřící stroje zjišťují konkrétní geometrii měřených objektů určením prostorových souřadnic několika měřících bodů. Z těchto souřadnic se následně ve vyhodnocovacím zařízení určí náhradní geometrie objektu. Pro každý tvarový prvek je určen nejmenší nevyhnutelný počet bodů, potřebný na vytvoření náhradní geometrie.

Po měření součástky CMM určí libovolnou geometrickou charakteristiku, jako např. odchylky rozměrů, tvarů a vzájemných poloh.

CMM se skládá z těchto částí: mechanická konstrukce, pohonný systém, řízení, měřící systém, snímací systém a počítač [5].

3. Experimentální sledování odchylek kruhovitosti

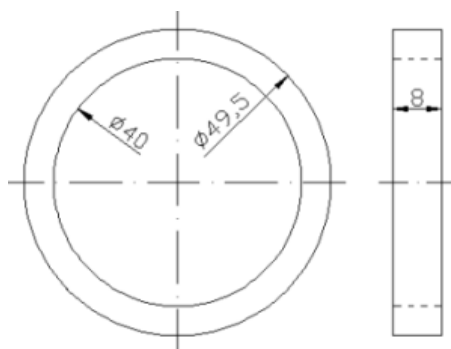
Na základě poznatků z problematiky odchylek kruhovitosti byl stanoven úkol:

- kroužky z kalené oceli obrobit soustružením na hrotovém soustruhu SUI 40 při různých řezných parametrech, následně vyhodnotit odchylky kruhovitosti a určit vhodné řezné parametry pro soustružení kalených ocelí s dosažením co nejmenších odchylek kruhovitosti.

3.1. Zkoumané vzorky

Pro sledování vlivu řezných parametrů na odchylku kruhovitosti bylo vybráno pět kalených kroužků (*obr. 3.1*):

- vnější průměr $\varnothing 49,5$ mm,
- vnitřní průměr $\varnothing 40$ mm,
- šířka 8 mm,
- materiál: 14 109.4 – konstrukční legovaná ocel, kalená
- tvrdost: 62 HRC

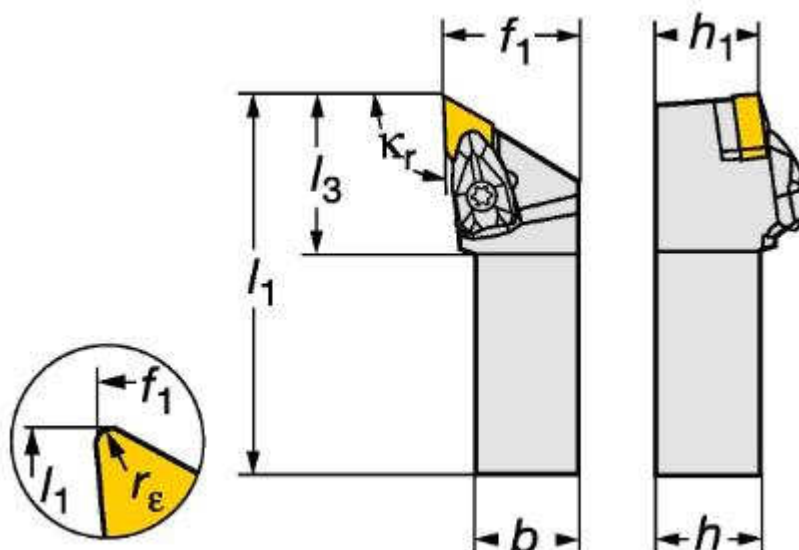


Obr. 3.1 Rozměry zkoumaných (testovaných) kroužků

3.2. Použitý stroj, nástroj a přípravek při soustružení

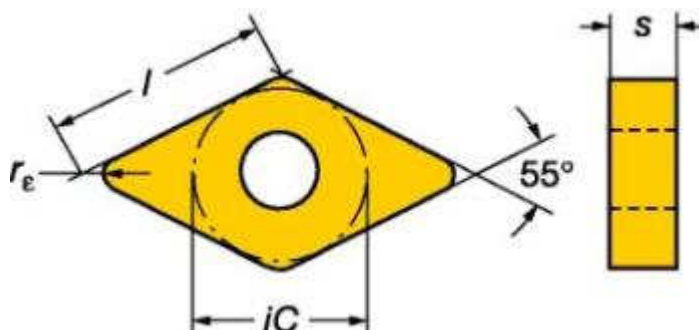
- Stroj: - hrotový soustruh SUI 40.
- Nástroj: - držák řezného nástroje, označení *DDJNR 2525M 15-2* (obr. 3.2),
- řezná destička z keramiky Al_2O_3+TiC , povlak *TiN*, označení *NGA150408S01525 6050* (obr. 3.3).
- Princip obrábění: - podélné soustružení, bez procesní kapaliny (tzv. suché soustružení).

κ_r	=	93°
b	=	25 mm
f_1	=	32 mm
h	=	25 mm
h_1	=	25 mm
l_1	=	150 mm
l_3	=	39,4 mm
r_ϵ	=	0,8 mm



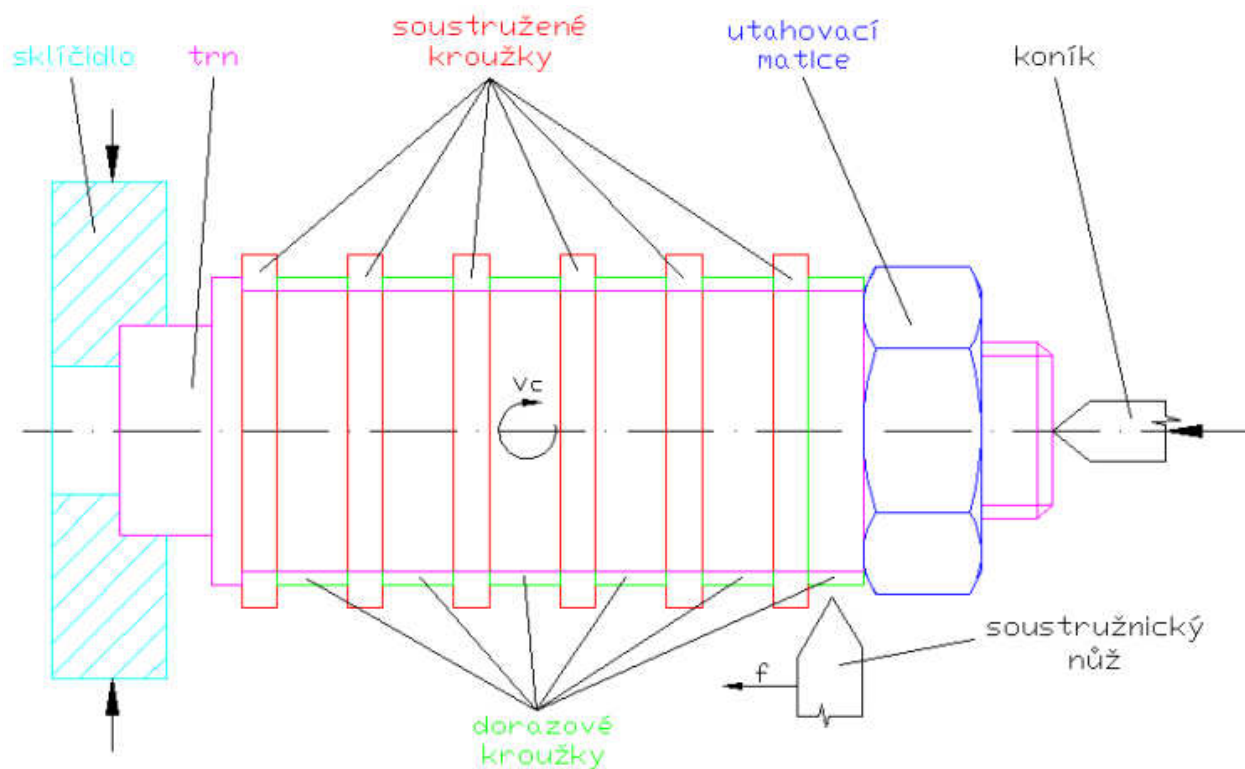
Obr. 3.2 Parametry držáku řezného nástroje [6]

l	=	15 mm
s	=	4,75 mm
iC	=	12,7 mm
r_ϵ	=	0,8 mm



Obr. 3.3 Parametry řezného nástroje [6]

Z důvodu minimalizování deformace kroužků vlivem upnutí byl vyroben vhodný přípravek. Jedná se o trn, na který budou soustružené kroužky nasunuty, dorazové kroužky, které budou mezi jednotlivými soustruženými kroužky a utahovací matice, viz. *obr. 3.4*.



Obr. 3.4 Nákres přípravku pro upnutí kroužků



Obr. 3.5 Trn s nasazenými kroužky a upnutý do stroje

3.3. Měření odchylky kruhovitosti spojitou metodou na konvenčním přístroji

Odchylka kruhovitosti byla měřena v laboratoři 3D měření na „Katedre obrábění a výrobní techniky“ a „Katedre konstruování a částí strojů“, Strojní fakulty - Žilinské univerzity v Žilině na konvenčním měřicím přístroji Talyrond 73 (obr. 3.6) od firmy Taylor-Hobson a připojeným stolním počítačem.

Otočné vřeteno s měřicí sondou se otáčí okolo měřené součástky, která se nepohybuje. Princip byl popsán v kapitole 2.3.1.1 - Absolutní metody – metoda s rotujícím vřetenem.

Při vyhodnocení každého kroužku při jednotlivých řezných parametrech byly realizovány tři opakování měření odchylek kruhovitosti ΔZ_1 , ΔZ_2 , ΔZ_3 , a z těch byl vypočten aritmetický průměr odchylek kruhovitosti $\bar{\Delta Z}$, který byl následně vyhodnocován.



Obr. 3.6 Měřicí přístroj Talyrond 73 s připojeným stolním počítačem



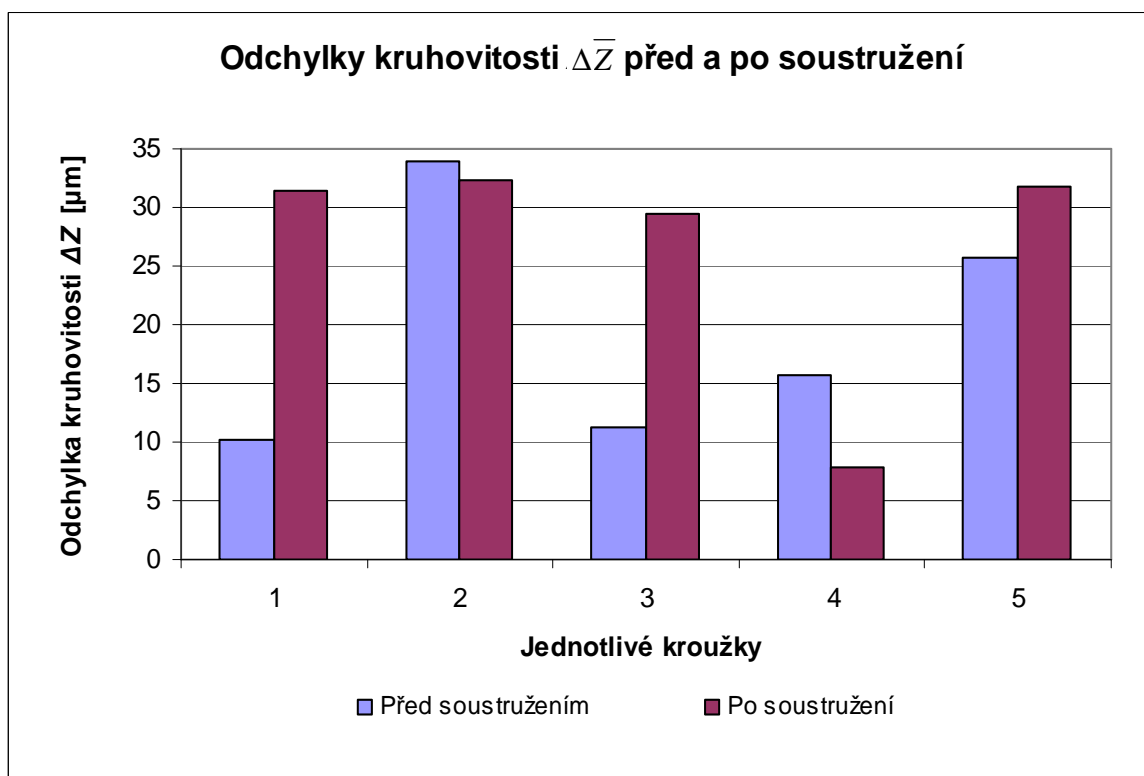
Obr. 3.7 Snímání povrchu kroužku

Podmínky měření:

- přesnost stroje u_P : 0,02 μm ,
- teplota prostředí: 21°C,
- vyhodnocovací software: ROFORM,
- filtr: GAUSS, 2-15,
- referenční kružnice: LSC,
- měřená součástky: kroužky, viz. obr. 3.1

3.4. Výsledky měření

Srovnání výchozích odchylek kruhovitosti kroužků po tepelném zpracování před soustružením s odchylkami kruhovitosti po soustružení různými řeznými rychlostmi.



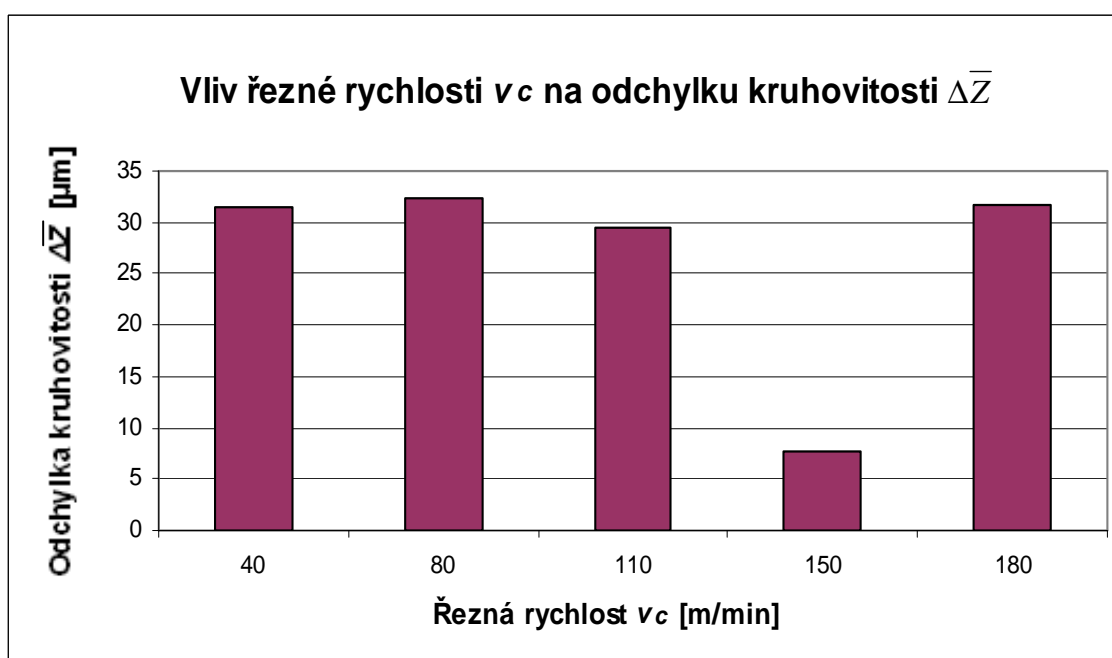
Obr. 3.8 Grafické znázornění odchylek kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ před a po soustružení

Soustružením daných kroužků z ložiskové oceli při námi zvolených řezných parametrech viz. obr. 3.8 se odchylka kruhovitosti zvětší průměrně o 61% původní velikosti před soustružením.

- Vliv řezné rychlosti v_c na odchylku kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ (tabulka 3.1), (obr. 3.9):
- řezné parametry: $a_p = 0.5 \text{ mm}$, $f = 0,21 \text{ mm}$ a proměnné řezné rychlosti v_c .

Tabulka 3.1 Průměrné odchylky kruhovitosti

Řezná rychlost v_c [m/min]	Odchylka kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ [μm]
40	31,40
80	32,40
110	29,40
150	7,77
180	31,70

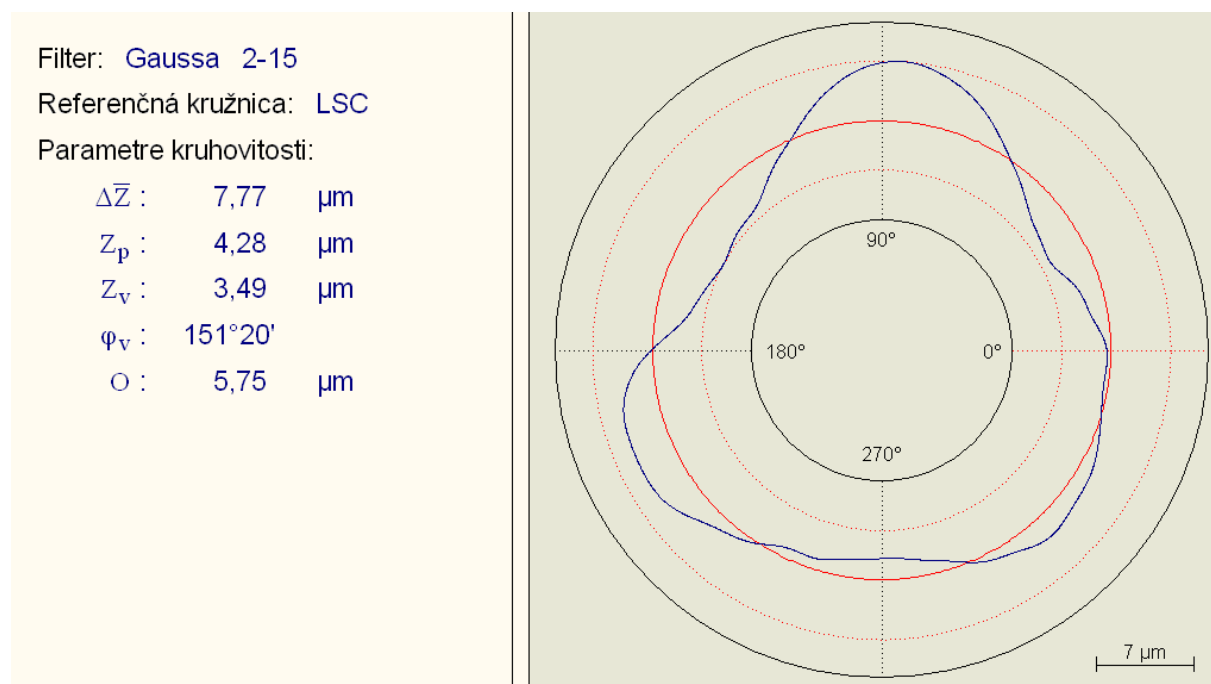
Obr. 3.9 Grafické znázornění odchylek kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ po obrábění různými řeznými rychlostmi v_c

Z grafu vyplývá, že nejmenší odchylka kruhovitosti $\Delta\bar{Z} = 7,77 \mu\text{m}$ byla naměřena při použití řezné rychlosti $v_c = 150 \text{ m/min}$. U ostatních řezných rychlostí byly hodnoty odchylek kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ větší a vzájemně velmi podobné a nabývaly hodnot v rozmezí $\Delta Z = 29,4 \mu\text{m}$ až $32,4 \mu\text{m}$.

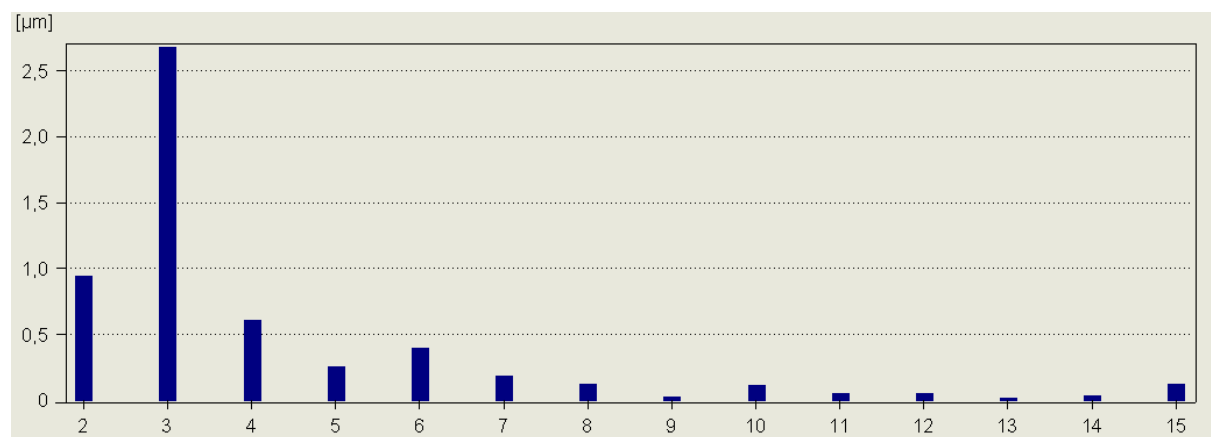
Kroužky byly měřeny třikrát, ale grafické záznamy nejsou zobrazeny, protože se významně nelišily v polárních, ani v harmonických záznamech. Byly jen vypočteny aritmetické průměry, které jsou zaznamenány v záznamu o výsledných hodnotách.

Na *obr. 3.10* je zobrazen protokol z měření kroužku soustruženého nejvhodnější řeznou rychlostí, protokoly ostatních kroužků jsou zobrazeny v přílohách – $v_c = 40 \text{ m/min}$ (příloha 1), $v_c = 80 \text{ m/min}$ (příloha 2), $v_c = 110 \text{ m/min}$ (příloha 3), $v_c = 180 \text{ m/min}$ (příloha 4).

Z harmonických analýz lze určit, že nejčastěji se vyskytuje ovalita a následně trojhranatost.



Filter: Gaussa 2-15	Referenčná kružnica: LSC	
Parametre kruhovitosti:		
Odchýlka kruhovitosti [μm]	$\Delta\bar{Z}$:	7,77
Maximálny výstupok [μm]	Z_p :	4,28
Uhol maximálneho výstupku	φ_p :	85°46'
Maximálna priehlbenina [μm]	Z_v :	3,49
Uhol maximálnej priehlbeniny	φ_v :	151°20'
Počet hrán	N :	3
Amplitúda a číslo najväčšej harmonickej [μm]	H_k :	2,69
Ovál [μm]	O :	5,75



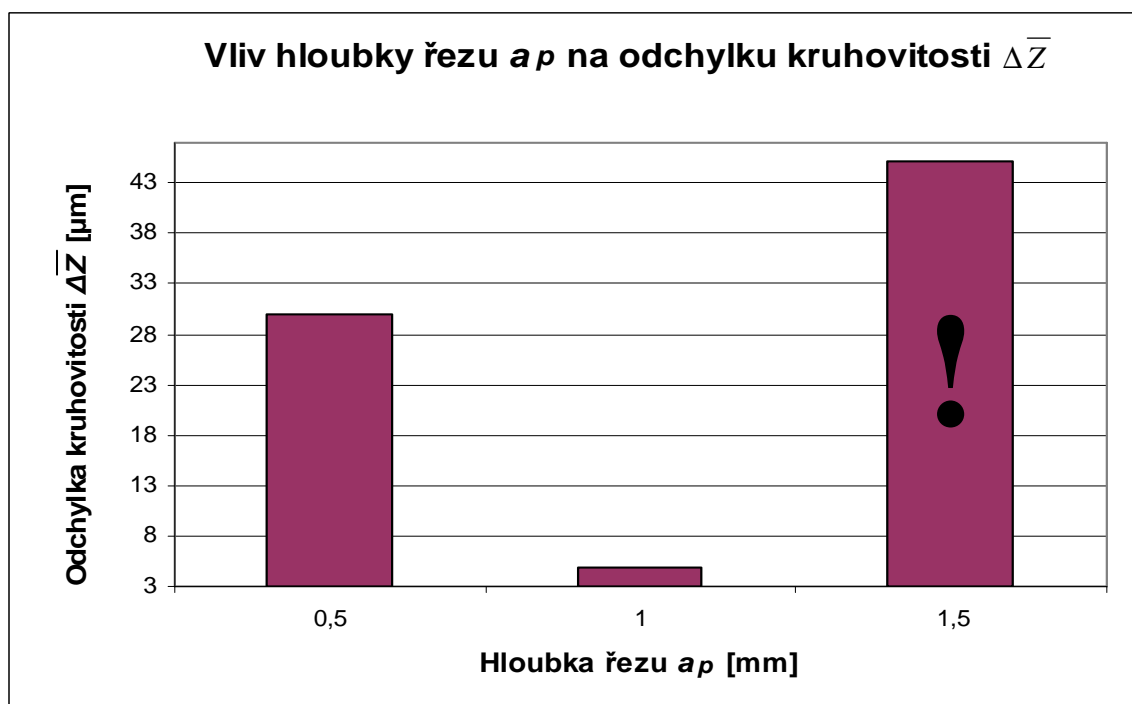
Obr. 3.10 Protokol měření odchylky kruhovitosti kroužku
obrobeného nejvhodnější řeznou rychlostí - $v_c = 150 \text{ m/min}$

- Vliv hloubky řezu a_p na odchylku kruhovitosti $\overline{\Delta Z}$ (tabulka 3.2), (obr. 3.11):
- řezné parametry: $v_c = 110 \text{ m/min}$, $f = 0,21 \text{ mm}$ a proměnné hloubce řezu a_p .

Tabulka 3.2 Průměrné odchylky kruhovitosti

Hloubka řezu a_p [mm]	Odchylka kruhovitosti $\overline{\Delta Z}$ [μm]
0,5	29,90
1,0	4,96
1,5	45,10

... porušení nástroje



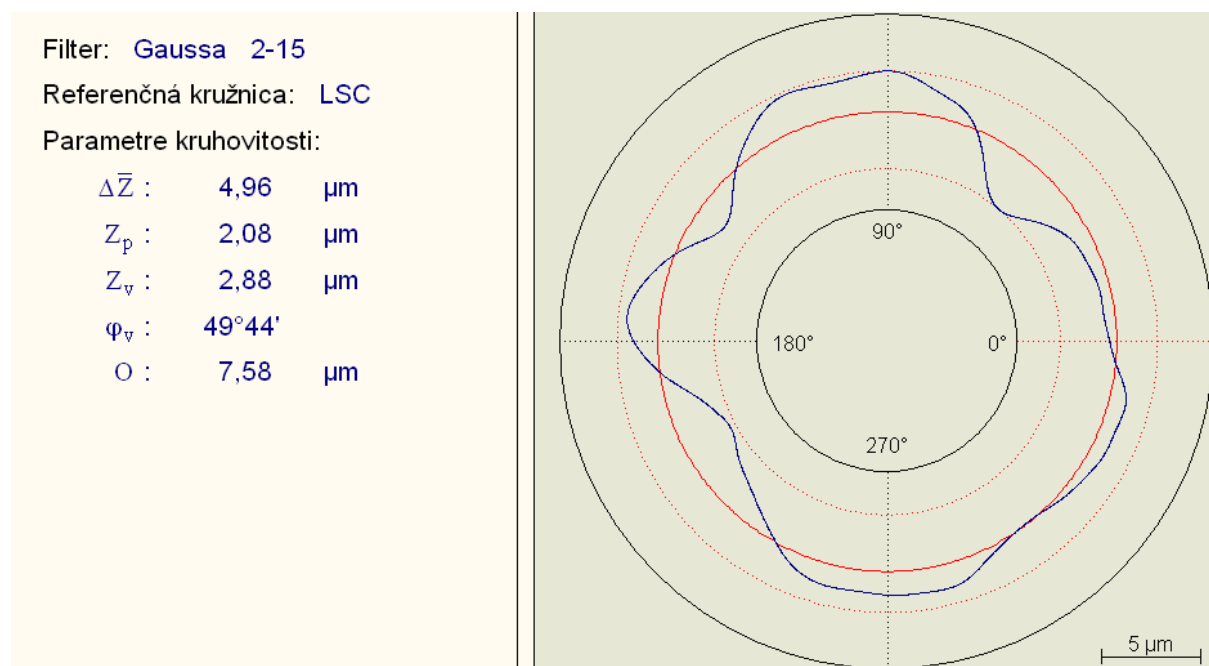
Obr. 3.11 Grafické znázornění odchylek kruhovitosti $\overline{\Delta Z}$ po obrábění různými hloubkami řezu a_p

Z grafu vyplývá, že nejmenší odchylka kruhovitosti $\overline{\Delta Z} = 4,96 \mu\text{m}$ byla naměřena při použití hloubky řezu $a_p = 1 \text{ mm}$, u $a_p = 0,5 \text{ mm}$ byla odchylka kruhovitosti několikanásobně větší - $\overline{\Delta Z} = 29,9 \mu\text{m}$. Při hloubce řezu $a_p = 1,5 \text{ mm}$ došlo k odlomení a deformaci špičky nástroje!

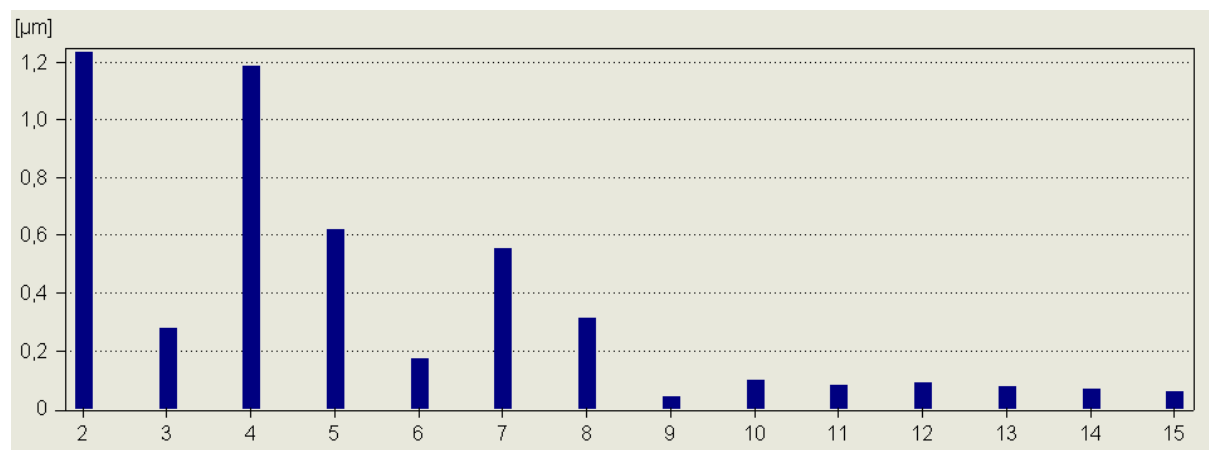
Kroužky byly měřeny třikrát, ale grafické záznamy nejsou zobrazeny, protože se významně nelišily v polárních, ani v harmonických záznamech. Byly jen vypočteny aritmetické průměry, které jsou zaznamenány v záznamu o výsledných hodnotách.

Na *obr. 3.9* je zobrazen protokol z měření kroužku soustruženého nejvhodnější hloubkou řezu, protokoly ostatních kroužků jsou zobrazeny v přílohách – $a_p = 0,5 \text{ mm}$ (*příloha 5*), $a_p = 1,5 \text{ mm}$ (*příloha 6*).

Z harmonických analýz lze určit, že nejčastěji se vyskytuje ovalita a následně trojhranatost.



Filter: Gaussa 2-15	Referenčná kružnica: LSC	
Parametre kruhovitosti:		
Odchýlka kruhovitosti [μm]	$\Delta \bar{Z}$:	4,96
Maximálny výstupok [μm]	Z_p :	2,08
Uhol maximálneho výstupku	φ_p :	90°00'
Maximálna priehlbenina [μm]	Z_v :	2,88
Uhol maximálnej priehlbeniny	φ_v :	49°44'
Počet hrán	N :	4
Amplitúda a číslo najväčšej harmonickej [μm]	H_k :	1,24
Ovál [μm]	O :	7,58

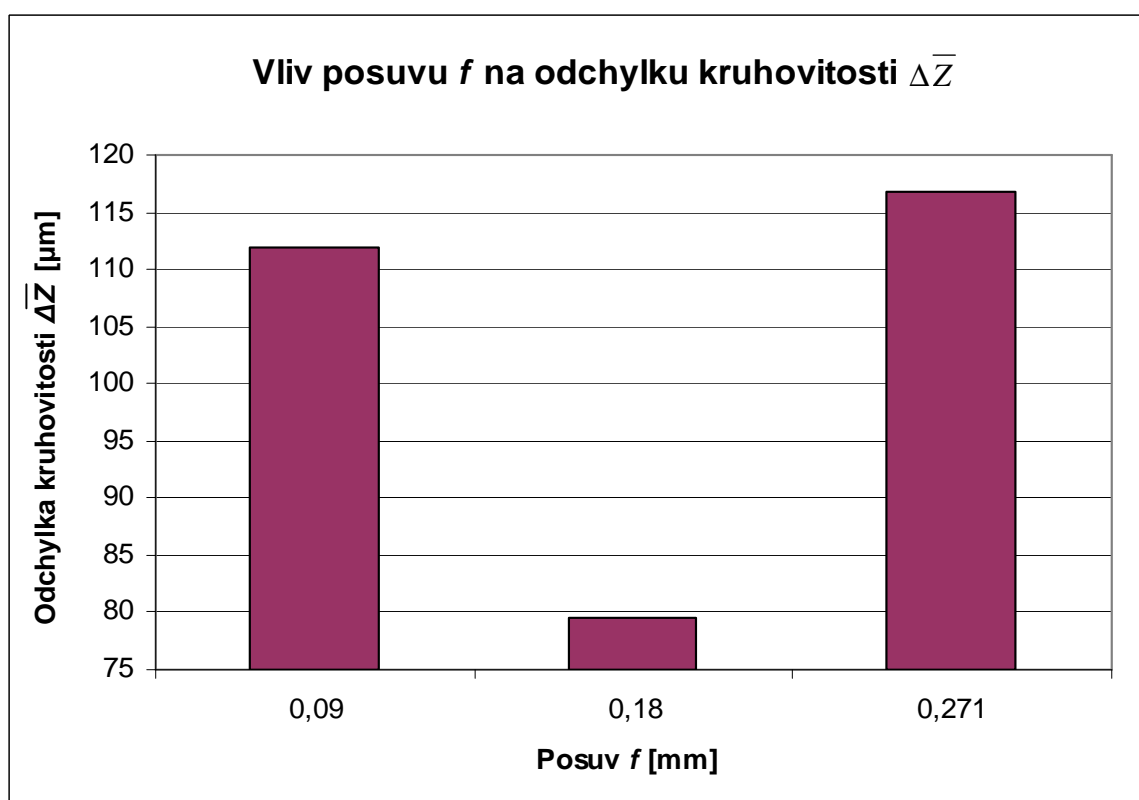


Obr. 3.12 Protokol měření odchylky kruhovitosti kroužku
obrobeného nejvhodnější hloubkou řezu - $a_p = 1 \text{ mm}$

- Vliv posuvu f na odchylku kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ (tabulka 3.3), (obr. 3.13):
- řezné parametry: $v_c = 110 \text{ m/min}$, $a_p = 0,25 \text{ mm}$ a proměnné hloubce řezu a_p .

Tabulka 3.3 Průměrné odchylky kruhovitosti

Posuv f [mm]	Odchylka kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ [μm]
0,090	111,9
0,180	79,6
0,271	116,8

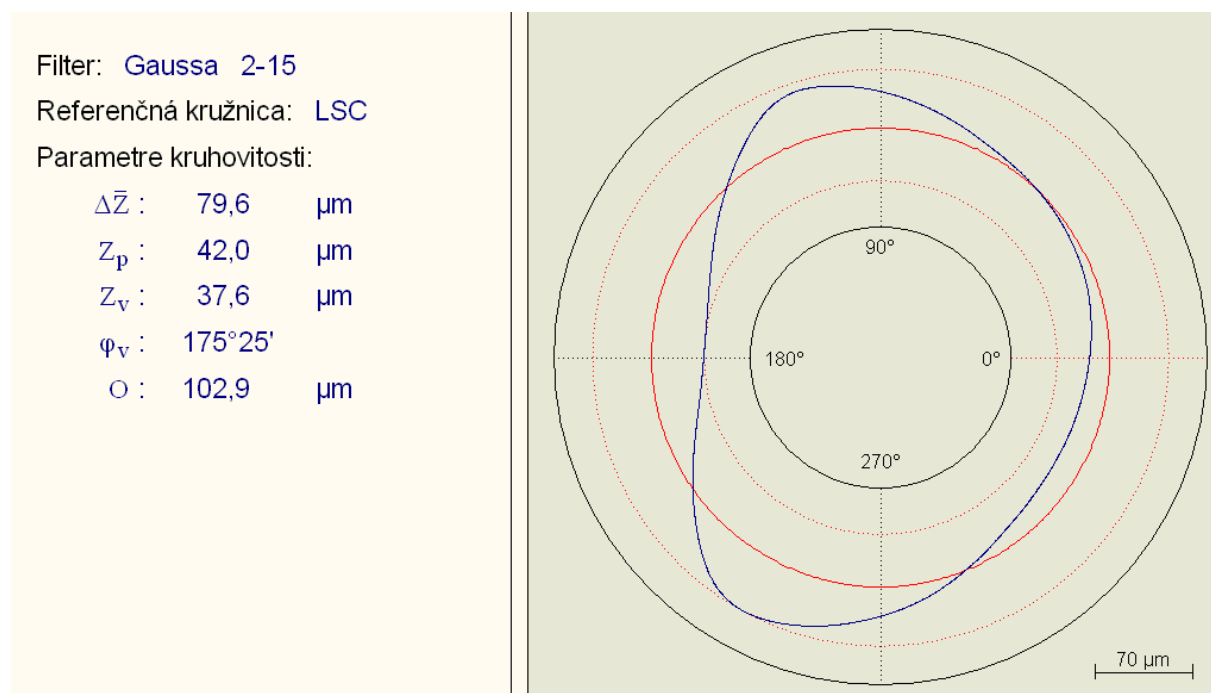
Obr. 3.13 Grafické znázornění odchylek kruhovitosti $\Delta\bar{Z}$ po obrábění různými posuvy f

Z grafu vyplývá, že nejmenší odchylka kruhovitosti $\Delta\bar{Z} = 79,6 \mu\text{m}$ byla naměřena při použití posuvu $f = 0,18 \text{ mm}$. U $f = 0,09 \text{ mm}$ a $f = 0,271 \text{ mm}$ byly odchylky kruhovitosti se vzájemně podobnými hodnotami.

Kroužky byly měřeny třikrát, ale grafické záznamy nejsou zobrazeny, protože se významně nelišily v polárních, ani v harmonických záznamech. Byly jen vypočteny aritmetické průměry, které jsou zaznamenány v záznamu o výsledných hodnotách.

Na *obr. 3.14* je zobrazen protokol z měření kroužku soustruženého nejvhodnější hloubkou řezu, protokoly ostatních kroužků jsou zobrazeny v přílohách – $f = 0,09 \text{ mm}$ (*příloha 7*), $f = 0,271 \text{ mm}$ (*příloha 8*).

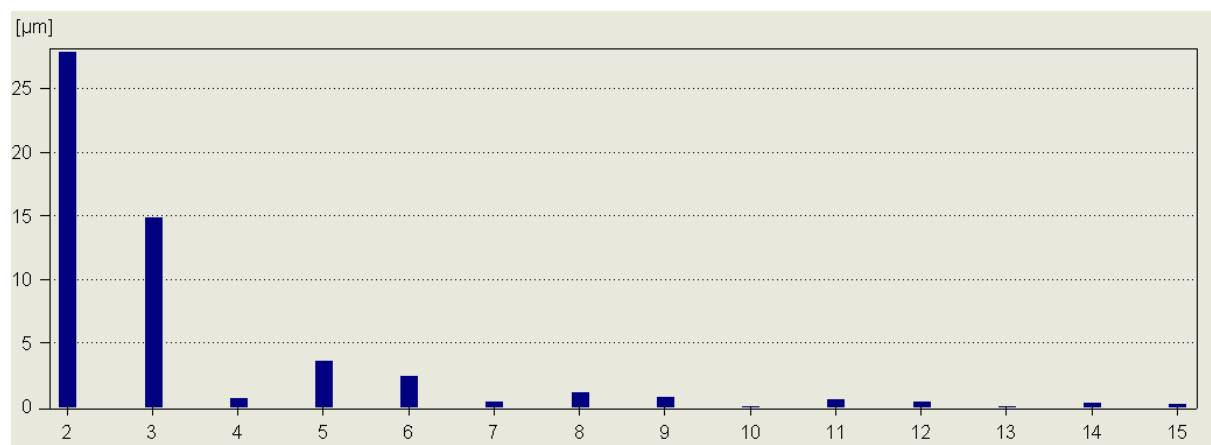
Z harmonických analýz lze určit, že nejčastěji se vyskytuje ovalita a následně trojhranatost.



Filter: Gaussa 2-15 Referenčná kružnica: LSC

Parametre kruhovitosti:

Odchýlka kruhovitosti [μm]	$\Delta\bar{Z}$:	79,6
Maximálny výstupok [μm]	Z_p :	42,0
Uhol maximálneho výstupku	φ_p :	241°20'
Maximálna priehlbenina [μm]	Z_v :	37,6
Uhol maximálnej priehlbeniny	φ_v :	175°25'
Počet hrán	N :	2
Amplitúda a číslo najväčšej harmonickej [μm]	H_k :	27,9
Ovál [μm]	O :	102,9



Obr. 3.14 Protokol měření odchylky kruhovitosti kroužku
obrobeného nejvhodnějším posuvem - $f = 0,18 \text{ mm}$

4. Zhodnocení

Náplní bakalářské práce bylo zjišťování vlivu řezných parametrů na odchylku kruhovitosti při soustružení kroužků z ložiskové oceli 14 109.4 (kalené na tvrdost 62 HRC) na hrotovém soustruhu SUI 40. Následné měření odchylek kruhovitosti obrobených kroužků bylo realizováno na měřícím přístroji TALYROND 73.

Jako první byl zjišťován vliv řezné rychlosti v_c . Byly zvoleny $v_c = 40 \text{ m/min}$, $v_c = 80 \text{ m/min}$, $v_c = 110 \text{ m/min}$, $v_c = 150 \text{ m/min}$ a $v_c = 180 \text{ m/min}$. Jako nejvhodnější se jeví $v_c = 150 \text{ m/min}$, kde byl aritmetický průměr naměřených hodnot odchylek kruhovitosti $\overline{\Delta Z} = 7,77 \text{ } \mu\text{m}$, viz. obr. 3.10. Ostatními použitými řeznými rychlostmi bylo dosaženo vzájemně podobných odchylek kruhovitosti v rozmezí $\overline{\Delta Z} = 29,4 \text{ } \mu\text{m}$ až $32,4 \text{ } \mu\text{m}$, viz. obr. 3.9.

Druhým sledovaným řezným parametrem byla hloubka řezu a_p . Byly zvoleny hloubky řezu $a_p = 0,5 \text{ mm}$, $a_p = 1 \text{ mm}$ a $a_p = 1,5 \text{ mm}$. Jako nejvhodnější se jeví $a_p = 1 \text{ mm}$, kde byl aritmetický průměr naměřených hodnot odchylek kruhovitosti $\overline{\Delta Z} = 4,96 \text{ } \mu\text{m}$, viz. obr. 3.12. Použitím hloubky řezu $a_p = 0,5 \text{ mm}$ byla dosažena odchylka kruhovitosti $\overline{\Delta Z} = 29,9 \text{ } \mu\text{m}$, a při $a_p = 1,5 \text{ mm}$ došlo ke zlomení špičky nástroje a její deformaci, čím také byla ovlivněna odchylka kruhovitosti $\overline{\Delta Z} = 45,1 \text{ } \mu\text{m}$, viz. obr. 3.11.

Posledním sledovaným řezným parametrem byl posuv f . Byly zvoleny posuvy $f = 0,09 \text{ mm}$, $f = 0,18 \text{ mm}$ a $f = 0,271 \text{ mm}$. Jako nejvhodnější se jeví $f = 0,18 \text{ mm}$, kde byl aritmetický průměr naměřených hodnot odchylek kruhovitosti $\overline{\Delta Z} = 79,6 \text{ } \mu\text{m}$, viz. obr. 3.14. Při použití posuvu $f = 0,09 \text{ mm}$ bylo dosaženo odchylky kruhovitosti $\overline{\Delta Z} = 111,9 \text{ } \mu\text{m}$, a při posuvu $f = 0,271 \text{ mm}$ bylo dosaženo odchylky kruhovitosti $\overline{\Delta Z} = 116,8 \text{ } \mu\text{m}$, viz. obr. 3.13.

5. Závěr

Předložená bakalářská práce přináší poznatky z oblasti odchylek kruhovitosti, jejich měření, příčin jejich vzniku a vlivu řezných parametrů na jejich velikost. Odchyly kruhovitosti jsou významným parametrem při hodnocení kvality součástek. Této problematice, není věnovaná dostatečná pozornost, a to při změně ovlivněné tepelným zpracováním a následným opracováním.

V bakalářské práci byly sledovány odchylky kruhovitosti v závislosti na řezných parametrech při obrábění ložiskové oceli 14 109.4. Nejevily žádné významné rozdíly odchylek kruhovitosti, až na výjimku při použitých středních řezných rychlostech, kde odchylka kruhovitosti stoupla téměř o trojnásobek oproti ostatním řezným rychlostem. Mohlo to být způsobeno také tenkou tloušťkou stěny kroužku a tepelným zpracováním. Z porovnání harmonických analýz lze konstatovat, že nejpravděpodobnější je výskyt ovality a následně trojhranatosti, bylo by vhodné se dále věnovat této problematice, vyzkoušet jiné podmínky a jiné tloušťky kroužků.

Můžeme konstatovat, že práce splnila stanovené cíle a veškeré zpracované výsledky z experimentální části jsou postačující vstupní údaje pro další zkoumání této oblasti a vypracování diplomové práce. Nutno podotknout, že výsledky mohly být ovlivněny vlivem tepelného zpracování na tvar a rozměry kroužků. Všechny kroužky tedy nebyly před sledovaným obráběním totožné. Bylo by vhodné práci rozšířit a zkoumat při vysokorychlostním obrábění včetně statistického zpracování a věnovat se i dalším aspektům, které ovlivňují odchylku kruhovitosti.

Seznam použité literatury

- [1] JOCHMANN A., ADAMČÁK M., PAČEK J.: Valivé ložiská, Bratislava: Alfa 1984 str. 39
- [2] PERNIKÁŘ J., TYKAL M., VAČKÁŘ J.: Jakost a metrologie, Část metrologie, CERM Brno, 2004
- [3] MEDVECKÝ Š., ČILLÍK L., BARYSZ I., ŽARNAY M., HRČEKOVÁ A., BRONČEK J., KUČERA L.: *Základy konštruovania*, EDIS Žilina 1999
- [4] HUMIENNY, Z., i inni: Specyfikacja geometrii wyrobów (GPS), Podręcznik europejski. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa, 2004
- [5] KUREKOVÁ, E., GABKO, P., HALAJ, M.: Technické meranie - Zväzok II, Ing. Peter Juriga - Grafické štúdio, Bratislava 1.vydanie, 2005, ISBN 80-89112-04-8, Modul M14 str.396-413
- [6] SANDVIK COROMANT: *Technická příručka obrábění*. Švédsko: ELANDERS, 2005, C-2900:3CZE/01
- [7] OČENÁŠOVÁ, L.: Príspevok k hodnoteniu odchýlky kruhovitosti pri meraní na súradnicovom meracom stroji; Doktorská disertační práce. Žilina - Žilinská univerzita Fakulta strojní, 2008. 104 s., 35 príl.
- [8] NENÁHLO Č.: *Souřadnicová měřicí technika*, Česká metrologická společnost Praha. Dostupný na internetu: <http://www.strojarstvo.sk/docwww/SK/290/290.pdf>
- [9] Norma ISO/TS 12181-2:2003: Geometrical Product Specifications (GPS) – Roundness – Part 2: Specifications operators
- [10] Norma STN ISO 4291. Metódy hodnotenia odchýlok kruhovitosti - Meranie zmien polomeru, 1995
- [11] Norma EN/ISO 1101 Geometrical Product Specification (GPS) – Geometrical Tolerancing - Tolerancing of Form, Orientation, Location and Run-out. International Standard, 2004
- [12] Norma STN ISO 6318 Meranie kruhovitosti. Termíny, definície a parametre kruhovitosti (01 4410). Slovenský ústav technickej normalizácie, 1995
- [13] Norma ISO 10360 – 1:2000, Geometrické špecifikácia výrobkov (GPS) – Akceptačné a verifikačné skúšky súradnicových meracích strojov (CMM)

Seznam příloh

- Příloha 1** Protokol z měření kroužků soustružených při řezné rychlosti $v_c = 40 \text{ m/min}$.
- Příloha 2** Protokol z měření kroužků soustružených při řezné rychlosti $v_c = 80 \text{ m/min}$.
- Příloha 3** Protokol z měření kroužků soustružených při řezné rychlosti $v_c = 110 \text{ m/min}$.
- Příloha 4** Protokol z měření kroužků soustružených při řezné rychlosti $v_c = 180 \text{ m/min}$.
- Příloha 5** Protokol z měření kroužků soustružených při hloubce řezu $a_p = 0,5 \text{ mm}$.
- Příloha 6** Protokol z měření kroužků soustružených při hloubce řezu $a_p = 1,5 \text{ mm}$.
- Příloha 7** Protokol z měření kroužků soustružených při posuvu $f = 0,09 \text{ mm}$.
- Příloha 8** Protokol z měření kroužků soustružených při posuvu $f = 0,271 \text{ mm}$.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí mé bakalářské práce *Ing. Lence Očenášové, Ph.D.* za její podnětné návrhy, odborné rady, pomoc a čas, který mi věnovala.

Rovněž bych chtěl poděkovat „Katedre obrábania a výrobnéj techniky“ a „Katedre konštruovania a častí strojov“, Strojní fakulty - Žilinské univerzity v Žilině a jejich zaměstnancům za jejich vstřícný přístup a pomoc při zpracování experimentální části bakalářské práce.